

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Yang Relevan

Penelitian yang dilakukan oleh Milan Mazuznder (2020) dengan judul *“Investigation the Variation of Pull-Out Load Capacity of Adhesive Anchors with Mixture Ratio of Concrete and Rebar Grade”*, meneliti tentang kekuatan tarik pada angkur tipe *riber*. Eksperimen ini menggunakan metode *cast in place* atau disebut juga angkur cor ditempat. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai perkuatan pada beton maka semakin tinggi juga nilai rekatan angkur pada beton sehingga nilai kuat tarik pada beton juga semakin besar.

Penelitian Nilforoush, Rasoul; Martin Nilsson; dan Lennart Elfgren, (2017) *“Experimental Evaluation Of Tensile Behaviour Of Single Cast-In-Place Anchor Bolts In Plain And Steel Fibre-Reinforced Normal- And High-Strength Concrete”* menghasilkan bahwa (1) kapasitas breakout beton akibat tarik headed anchor meningkat dengan meningkatnya ketebalan beton, kapasitas angkur meningkat hingga 17% dengan meningkatkan ketebalan anggota dari 1,5 menjadi 3,0 kali kedalaman angkur. (2) Kapasitas tarik baut angkur meningkat dengan meningkatkan kekuatan beton, perilaku pengangkuran pada *beton High-strength Plain Concrete (HPC)* lebih rapuh dari pada *beton Normal-strength Plain Concrete (NPC)*. (3) Penambahan serat baja ke campuran beton menyebabkan peningkatan yang signifikan dalam kapasitas

breakout headed anchor di kedua beton kekuatan normal dan tinggi. (4) Pengujian tarik angkur yang diuji semua kegagalan jebol kerucut beton, kecuali untuk pengujian tarik angkur pada beton NPC tertipis yang kegagalan *splitting* beton. Mode kegagalan *splitting* dari beton yang tipis dapat terjadi kegagalan jebol kerucut beton ketika ketebalan beton meningkat. (5) Pada displacement angkur yang sama, lebih sedikit retakan beton yang terbentuk pada baut angkur pada kekuatan *Normal-Reinforced Fiber (NFRC)* dan *High-strength Fiber Reinforced Concrete (HFRC)* daripada di beton NPC dan HPC.

2.2 Beton

Beton (*concreate*) berasal dari bahasa latin yaitu “*concretus*” yang berarti tumbuh bersama dan digabungkan menjadi satu. Maka dari itu beton adalah satu kesatuan suatu elemen dalam konstruksi yang merupakan struktur sederhana yang dibentuk oleh campuran semen, air, agregat (kasar dan halus). Semen berfungsi sebagai pengikat butir-butir agregat sehingga membentuk suatu massa padat dan mengisi rongga rongga udara di antara butir-butir agregat. Air berfungsi sebagai pelincir campuran semen dan agregat (kasar dan halus) agar mudah saat proses pencetakan . Agregat kasar (batu pecah atau kerikil) dan agregat halus (pasir) berfungsi sebagai pengisi bahan campuran beton dan juga memberikan kekuatan pada beton sehingga kualitas dari agregat baik kasar (batu pecah atau kerikil) dan agregat halus (pasir) mempengaruhi mutu beton yang akan dihasilkan. Variasi ukuran diameter agregat penyusun beton harus memiliki gradasi yang baik (heterogen) yang diatur standarnya

dalam standar analisis saringan dari ASTM (*America Society of Testing Materials*). Pemilihan bahan harus sesuai dengan perhitungan kebutuhan yang direncanakan karena akan mempengaruhi kualitas, workability, dan mutu beton itu sendiri (Nugraha, 2007).

Menurut SNI-03-2847-2002, pengertian beton adalah campuran antara semen Portland atau semen hidraulik lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan yang membentuk masa padat. Beton disusun dari agregat kasar dan agregat halus. Agregat halus yang digunakan biasanya adalah pasir alam maupun pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu, sedangkan agregat kasar yang dipakai biasanya berupa batu alam maupun batuan yang dihasilkan oleh industri pemecah batu.

Menurut SNI 2847:2013, beton adalah campuran semen portland atau semen hidrolis lainnya, agregat halus, agregat kasar, dan air, dengan atau tanpa bahan tambahan (*admixture*).

Beton merupakan bahan dari campuran antara *Portland cement*, agregat halus (pasir), agregat kasar (kerikil), air dengan tambahan adanya rongga-rongga udara. Campuran bahan-bahan pembentuk beton harus ditetapkan sedemikian rupa, sehingga menghasilkan beton basah yang mudah dikerjakan, memenuhi kekuatan tekan rencana setelah mengeras dan cukup ekonomis (Sutikno, 2003:1 dalam Supriadi,2016).

Menurut Tjokrodimuljo (1996), beton merupakan hasil pencampuran semen, air, dan agregat. Terkadang ditambah menggunakan bahan tambah dengan

perbandingan tertentu, mulai dari bahan kimia tambahan, fiber, sampai bahan buangan non kimia.

2.2.1 Jenis Beton

Jenis-jenis beton digunakan sesuai dengan keperluan agar dapat menjalankan fungsi yang dikehendaki dengan baik. Menurut Mulyono (2005) jenis-jenis beton diantaranya :

1. Beton bertulang

Beton bertulang merupakan beton yang diberi tambahan besi tulangan dengan luas dan jumlah tulangan yang tidak kurang dari nilai minimum, yang disyaratkan dengan atau tanpa prategang, dan direncanakan berdasarkan asumsi bahwa kedua material bekerja bersama-sama dalam menahan gaya yang bekerja.

2. Beton normal

Beton normal merupakan beton yang memiliki massa jenis 2200 kg/m^3 yang dibuat menggunakan agregat alam yang dipecah atau tanpa dipecah.

3. Beton pracetak

Beton pracetak merupakan elemen atau komponen beton tanpa atau dengan tulangan yang dicetak terlebih dahulu sebelum dirakit menjadi bangunan.

4. Beton prategang

Beton prategang merupakan beton yang telah diberikan tegangan dalam bentuk mengurangi tegangan tarik potensial dalam beton akibat pemberian beban yang bekerja.

5. Beton ringan

Beton ringan merupakan beton yang memakai agregat ringan atau campuran antara agregat kasar ringan dan pasir alami sebagai pengganti agregat halus ringan dengan ketentuan tidak boleh melampaui berat isi maksimum beton 1850 kg/m³ kering udara dan harus memenuhi ketentuan kuat tekan dan kuat tarik beton ringan untuk tujuan struktural.

2.2.2 Kekurangan Dan Kelebihan Beton

Secara umum kelebihan dan kekurangan beton menurut Nugraha P dan Antoni (2007:4-6) adalah:

Kelebihan beton :

1. Ketersediaan material dasar (*availability*)

- a) Agregat dan air pada umumnya bisa didapat dari lokal setempat. Semen pada umumnya juga dapat dibuat di daerah setempat, bila tersedia. Sehingga biaya pembuatan relatif murah.
- b) Tidak seperti struktur baja yang proses pembuatan harus dilakukan di pabrik, serta pengangkutan menjadi masalah tersendiri jika lokasi proyek dan tempat pembuatan baja berjauhan.
- c) Struktur kayu memiliki masalah lain apabila penggunaan secara massal karena dapat menyebabkan masalah lingkungan.

2. Kemudahan untuk digunakan (*Versatility*)

- a) Pengangkutan bahan mudah, karena masing – masing material dapat diangkut secara terpisah.

- b) Beton dapat digunakan untuk berbagai struktur, seperti bendungan, pondasi, jalan, landasan bandar udara, pipa, perlindungan dari radiasi, dan insulator panas.
 - c) Beton bertulang bisa dipakai untuk berbagai struktur yang lebih berat, seperti jembatan, gedung, tandon air, bangunan maritim, dan sebagainya.
3. Kemampuan beradaptasi (*adaptability*) :
- a) Beton bersifat monolit sehingga tidak memerlukan sambungan seperti baja.
 - b) Beton dapat dicetak dengan bentuk dan ukuran berapapun.
 - c) beton dapat diproduksi dengan berbagai cara yang disesuaikan dengan situasi sekitar. Dari cara sederhana yang tidak memerlukan ahli khusus sampai alat modern di pabrik yang serba otomatis dan terkomputerisasi.
 - d) Konsumsi energi minimal per kapasitas jauh lebih rendah dari baja, bahkan lebih rendah dari proses pembuatan batu bara.
4. Kebutuhan pemeliharaan yang minimal.

Disamping segala kelebihan diatas, beton juga memiliki beberapa kelemahan yang harus dipertimbangkan, yaitu:

- 1. Kekuatan tariknya rendah, meskipun kekuatan tekannya besar.
- 2. Beton cenderung untuk retak, karena semennya hidraulis.
- 3. Kualitas sangat tergantung pada cara pelaksanaan di lapangan. Baik maupun buruknya mutu beton dapat dipengaruhi dari rumus dan campurannya.
- 4. Struktur beton sulit untuk dipindahkan. Pemakaian kembali atau daur ulang sulit dan tidak ekonomis.

2.3 Bahan Penyusun Beton

Bahan penyusun beton meliputi agregat kasar, agregat halus, semen dan air, di mana setiap bahan penyusun mempunyai fungsi dan pengaruh yang berbeda-beda. Sifat yang penting pada beton adalah kuat tekan, bila kuat tekan tinggi maka sifat-sifat yang lain pada umumnya juga baik. Adapun penjelasan dari masing-masing bahan penyusun adalah sebagai berikut.

2.3.1 Agregat kasar

Agregat kasar adalah kerikil sebagai hasil desintegrasi dari bebatuan alami atau berupa batu pecah/belah yang dihasilkan dari industri pemecah batu, dengan bentuk ukurannya antara 4,76 mm — 150 mm. Agregat kasar ini dipakai secara bersama-sama dengan media pengikat untuk membentuk suatu beton semen hidraulik atau adukan. Agregat kasar ini menjadi komponen beton yang paling berperan dalam menentukan besarnya. Sama seperti halnya agregat halus, agregat kasar berdasarkan asalnya juga dibagi menjadi dua yaitu agregat alami yang diperoleh dari sumber alam dan agregat buatan yang diperoleh dari hasil industri pemecah batu.

Menurut ukurannya, kerikil dapat dibedakan atas :

- a. Ukuran butir : 5 – 10 mm disebut kricak halus
- b. Ukuran butir : 10 – 20 mm disebut kricak sedang
- c. Ukuran butir : 20 – 40 mm disebut kricak kasar
- d. Ukuran butir : 40 – 70 mm disebut kricak kasar sekali
- e. Ukuran butir : > 70 mm digunakan untuk konstruksi beton siklop.

Agregat kasar yang digunakan untuk campuran beton memiliki syarat-syarat yang harus dipenuhi. Menurut SK SNI S-04-1989-F syarat-syarat tersebut adalah :

- a. Agregat kasar harus terdiri dari butir-butir keras dan tidak berpori.
- b. Bersifat kekal, artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.
- c. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1%, apabila kadar lumpur melampaui 1% maka agregat kasar harus dicuci.
- d. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat-zat yang reaktif terhadap alkali.
- e. Modulus halus butir antara 6 – 7,1 dengan variasi butir sesuai standar gradasi.

2.3.2 Agregat Halus

Agregat halus adalah pasir alam sebagai hasil disintegasi alami batuan ataupun pasir yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir lebih kecil dari 3/16 inci atau 5 mm (lolos saringan no. 4).

Agregat halus yang digunakan untuk campuran pembuatan beton memiliki syarat-syarat yang harus dipenuhi. Menurut SK SNI S-04-1989-F syarat-syarat tersebut adalah :

- a. Agregat halus terdiri dari butir-butir tajam dan keras.
- b. Butir agregat halus harus bersifat kekal artinya tidak pecah atau hancur oleh pengaruh cuaca.
- c. Agregat halus tidak mengandung lumpur lebih dari 5%, apabila melebihi agregat halus harus dicuci.
- d. Agregat halus tidak banyak mengandung zat organik
- e. Modulus halus butir antara 1,5 – 3,8 dengan variasi butir sesuai standar gradasi.

2.3.3 Semen

Semen merupakan serbuk yang halus yang digunakan sebagai perekat antara agregat kasar dengan agregat halus. Apabila bubuk halus ini dicampur dengan air selang beberapa waktu akan menjadi keras dan dapat digunakan sebagai pengikat hidrolis. Semen jika dicampur dengan air akan membentuk adukan yang disebut pasta semen, jika dicampur dengan 20 agregat halus (pasir) dan air, maka akan terbentuk adukan yang disebut mortar, jika ditambah lagi dengan agregat kasar (kerikil/batu pecah) maka akan terbentuk adukan yang biasa disebut beton. Semen bersama air sebagai kelompok aktif sedangkan pasir dan kerikil sebagai kelompok pasif yang berfungsi sebagai pengisi. Penemu semen (*Portland Cement*) adalah Joseph Aspdin pada tahun 1824, seorang tukang batu kebangsaan Inggris. Dinamakan semen Portland, karena awalnya semen dihasilkan mempunyai warna serupa dengan tanah liat alam di Pulau Portland.

Semen merupakan bahan campuran yang secara kimiawi akan aktif setelah berhubungan dengan air. Fungsi utama semen adalah mengikat butir-butir agregat sehingga membentuk suatu masa padat dan mengisi rongga-rongga udara diantara butir-butir agregat tersebut. Walaupun komposisi semen dalam beton hanya sekitar 10%, namun karena fungsinya sebagai bahan pengikat maka peranan semen menjadi sangat penting (Mulyono, T., 2003)

Unsur utama yang terkandung dalam semen dapat digolongkan ke dalam empat bagian yaitu : trikalsium silikat (C3S), dikalsium silikat (C2S), trikalsium aluminat

(C3A), dan tetrakalsium aluminoforit (C4AF). Unsur C3S dan C2S merupakan bagian terbesar (70% - 80%) dan paling dominan dalam memberikan sifat semen (Tjokrodinuljo, 1996).

Semen Portland berdasarkan tipe penggunaannya dibagi menjadi 5 tipe, yaitu sebagai berikut ini.

1. Tipe I, yaitu Semen Portland untuk konstruksi umum yang penggunaan tidak memerlukan persyaratan-persyaratan khusus seperti yang diisyaratkan pada jenis-jenis lain.
2. Tipe II, yaitu Semen Portland untuk konstruksi yang memerlukan ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang.
3. Tipe III, yaitu Semen Portland untuk konstruksi yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi.
4. Tipe IV, yaitu Semen Portland untuk konstruksi yang menuntut persyaratan panas hidrasi yang rendah.
5. Tipe V, yaitu Semen Portland untuk konstruksi yang menuntut persyaratan sangat tahan terhadap sulfat.

2.3.4 Air

Air merupakan bahan dasar pembuat beton yang diperlukan untuk bereaksi kimia dengan semen yang memungkinkan untuk terjadinya pengikatan dan pengerasan dan menjadi pelumas antara butir-butir agregat agar dapat mudah dikerjakan (Kardiyono, 1996). Reaksi air dan semen akan menghasilkan pasta semen yang

berfungsi sebagai pengikat antar agregat. Perbandingan air dan semen dalam pembuatan beton sangat penting, karena akan berpengaruh pada kekuatan beton yang dihasilkan dan kemudahan dalam pengerjaannya. Bila beton terlalu banyak mengandung air akan menyebabkan timbulnya gelembung setelah proses hidrasi selesai, bila beton kekurangan air akan menyebabkan proses pengerjaan beton sulit dan beton akan menjadi porous setelah mengeras sehingga kekuatannya akan turun.

Air yang digunakan dalam pembuatan beton harus memenuhi syarat-syarat standar yang telah ditentukan. Menurut SK SNI S-04-1989-F Adapun ciri-ciri air yang layak untuk digunakan adalah :

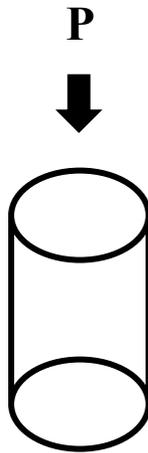
- a. Air harus bersih, tidak berwarna dan tidak berbau.
- b. Kandungan garam dan zat organik dalam air tidak lebih dari 15 gram/liter, karena dapat merusak beton.
- c. Kadar lumpur atau zat-zat lain yang terkandung dalam air tidak boleh lebih dari 2 gram/liter.
- d. Tidak mengandung klorida lebih dari 0.5 gram/liter.
- e. Tidak mengandung senyawa sulfat lebih dari 1 gram/liter.

2.4 Kuat Tekan Beton

Kuat tekan beton adalah besarnya kapasitas beton dalam menerima beban tekan per satuan luas penampang beton. Nilai kuat tekan beton didapatkan melalui tata cara pengujian standar, menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan dengan kecepatan peningkatan beban tertentu atas benda uji silinder beton (diameter

150 mm, tinggi 300 mm) sampai hancur (Apriyatno, 2010).

Nilai kuat tekan beton diperoleh dengan cara pengujian standar menggunakan mesin uji dengan cara memberikan beban tekan diatas benda uji silinder beton (diameter 150 mm, tinggi 300 mm) sampai hancur. Kuat tekan tertinggi (f'_c) dicapai pada umur beton 28 hari. Nilai kuat tekan beton diperoleh dari perbandingan dari besarnya beban tekan per satuan luas yang menyebabkan benda uji hancur.



Gambar : 2.1 Pengujian kuat tekan beton

Sumber : Nau, 2013

Tabel 2.1 Hubungan kuat tekan beton terhadap umur beton

Umur (hari)	Kuat Tekan Beton (%)
3	40
7	65
14	88
21	95
28	100
90	120
365	135

Sumber : Jurnal eksperimen perbandingan kapasitas kekuatan angkur menggunakan metode cast in *place* dan *post-installed* pada kegagalan *pull-out*, Wirguntoro, 2020

Adapun rumus yang digunakan sebagai berikut (SNI 1974-2011).

$$F'c = P/A$$

dengan:

$F'c$ = kuat tekan beton (MPa)

P = besar beban tekan (N)

A = luas penampang beton (mm²)

Tegangan $f'c$ bukanlah tegangan yang timbul pada saat benda uji hancur, melainkan tegangan maksimum pada saat regangan beton (ϵ_b) mencapai nilai $\pm 0,002$. Selanjutnya nilai tegangan $f'c$ akan turun dengan bertambahnya nilai regangan sampai benda uji hancur pada nilai ϵ' mencapai 0,003-0,005 (Dipohusodo, 1994). Bahan beton bersifat elastoplastis dimana akibat beban yang sangatkecil sekalipun disamping memperlihatkan kemampuan elastis bahan, beton juga menunjukkan deformasi permanen (Dipohusodo, 1994).

2.5 Kuat Tarik

Kuat tarik (bahan) angkur sama halnya dengan kuat tarik baja adalah kemampuan baja dalam menerima beban tarik per satuan luas penampang, yang bertujuan untuk mengetahui grafik tegangan regangan baja. Pengujian dengan penarikan batang uji secara terus menerus dengan gaya yang bertambah besar sampai putus dengan tujuan untuk menentukan nilai tarik. (SNI 07-0408-1989).

Benda uji merupakan batang proporsional dimana perbandingan antara, panjang dan luas penampang sebelum pengujian adalah sama.

$$l_0 = K\sqrt{A_{s0}} \dots\dots\dots(2.1)$$

l_0 = Panjang ukur benda uji (mm)

A_{s0} = Luas penampang terkecil semula (mm^2)

Dengan pengujian tarik baja didapat f_y (yield) dan f_u (ultimate).

$$\epsilon_c = L / L_0 \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan:

ϵ_c = Regangan

L = Pertambahan panjang (mm)

L_0 = Panjang mula mula (mm)

Parameter kuat tarik beton secara tepat sulit untuk diukur. Suatu pendekatan yang umum untuk mengukur nilai kuat tarik beton adalah dengan pengujian kuat tarik belah beton yang umumnya memberikan hasil yang mencerminkan besarnya kuat tarik yang sebenarnya, hasilnya digunakan untuk menentukan nilai kuat tarik beton. Karena kecilnya nilai kuat tarik beton maka digunakan baja tulangan untuk memperbaiki nilai kuat tarik beton. Tapi masih saja ada terjadi keruntuhan bangunan akibat tidak mampu menahan beban. Kegagalan perencanaan kekuatan beton ini sering terjadi karena tidak baiknya quality control pada pekerjaan beton saat pelaksanaan. Secara umum perencanaan yang baik mempertimbangkan semua aspek yang mungkin dapat terjadi pada bangunan. Salah satu aspek yang berperan penting dalam perencanaan adalah menentukan karakteristik dan kemampuan material yang akan dipakai pada struktur.

Hal ini membutuhkan pengujian secara mendalam terhadap sifat dari material seperti kekuatan, durabilitas, dan sifat mekanis beton lainnya. Data kekuatan beton yang diukur di laboratorium adalah kekuatan yang diuji pada skala kecil dan diuji hanya pada beberapa sampel dan satu jenis benda uji saja dan hasil kekuatan beton bukanlah suatu karakteristik mutlak.

2.6 Tegangan Lekat

Kuat lekat merupakan kombinasi kemampuan antara baja tulangan dan beton yang menyelimutinya dalam menahan gaya-gaya yang dapat menyebabkan lepasnya lekatan antara batang tulangan dan beton (Winter,1993). Gaya lekat akan terus meningkat seiring bertambahnya diameter tulangan, hal ini disebabkan karena gaya lekat merupakan luas bidang singgung dikalikan dengan tegangan lekat penjangkaran. Menurut Wang dan Salmon (1990), bahwa berapapun jumlah luas tulangan yang disediakan, tulangan-tulangan akan terlepas keluar apabila tidak diankerkan/dijangkarkan dengan memadai ke dalam beton. Untuk itu perlu penjangkaran sehingga gaya tarik yang timbul dapat ditahan oleh lekatan antara baja dan beton disekelilingnya.

Penelitian yang dilakukan oleh Langi William (2018) dengan judul “*Tegangan Lekat Antara Baja Dan Beton Dengan Mutu Beton 40-70 MPa*”, meneliti tentang nilai tegangan lekat pada mutu beton yang berbeda-beda menunjukkan hasil eksperimen persentase peningkatan tegangan lekat maksimum dan persentase peningkatan kuat tekan maksimum terjadi pada 70 MPa dimana semakin tinggi kuat tekan (f_c) maka

tegangan lekat (μ) antara tulangan baja dan beton semakin besar. Beton mempunyai kekuatan tekan yang tinggi, dan ketahanan terhadap tarik rendah. Bagian beton yang menahan gaya tarik akan diperkuat atau digantikan oleh baja tulangan. Baja tulangan berfungsi untuk meningkatkan daktilitas, sehingga kapasitas beton untuk mendukung beban menjadi meningkat. Jadi semakin tinggi mutu beton kuat lekat tulangannya juga semakin tinggi. Hubungan gaya cabut dengan perpanjangan tulangan linear sampai batas tertentu dan setelah itu tidak linear lagi. Kegagalan benda uji kuat lekat yang terjadi karena luluhnya tulangan.

Menurut Park dan Paulay (1975), tegangan lekat merupakan hubungan saling geser (shear interlock) antara elemen tulangan dan beton disekitarnya yang disebabkan oleh berbagai faktor. Efek ini dapat dinyatakan dalam tegangan geser per satuan luas permukaan tulangan. Tegangan langsung ini ditransformasikan dari beton ke permukaan tulangan sehingga mengubah tegangan tarik diseluruh panjang tulangan melalui mekanisme bond.

Kekuatan lekatan bergantung pada faktorfaktor utama sebagai berikut (Nawy, 1998):

1. Adhesi antara elemen beton dan tulangan baja.
2. Efek gripping (memegang) sebagai akibat dari susut pengeringan beton disekeliling tulangan dan saling geser antara tulangan dengan beton disekitarnya.
3. Tahanan gesekan (friksi) terhadap gelincir dan saling mengunci pada saat tulangan mengalami tegangan tarik.

4. Kualitas beton yaitu kekuatan tarik dan tekannya.
5. Efek mekanis penjangkaran ujung tulangan yaitu dengan panjang penyaluran (*development length*), panjang lewatan (*splicing*), bengkokan tulangan (*hooks*) dan persilangan tulangan.
6. Diameter, bentuk dan jarak tulangan karena semuanya mempengaruhi pertumbuhan retak.

Keruntuhan lekatan antara baja tulangan dan beton yang mungkin terjadi pada saat dilakukan pengujian biasanya ditunjukkan oleh salah satu atau lebih dari peristiwa berikut ini (Nuryani TA, 2005 dalam Langi, 2018).

1. *Transverse Failure* yaitu adanya retak pada beton arah transversal/melintang akibat tegangan tarik yang tidak dapat ditahan oleh selimut beton, keruntuhan ini akan menurunkan tegangan lekat antara baja tulangan dan beton.
2. *Splitting Failure* yaitu adanya retak pada beton arah longitudinal/memanjang akibat tegangan radial geser yang tidak dapat ditahan oleh selimut beton, keruntuhan ini akan menurunkan tegangan lekat antara baja tulangan dan beton.
3. *Pull Out Failure/Slip* yaitu kondisi dimana baja tulangan tercabut dari beton tanpa mengalami retak yang diakibatkan komponen tegangan geser yang memecah lekatan antara baja tulangan dan beton.
4. Baja tulangan mencapai leleh yaitu apabila baja tulangan meleleh diikuti oleh kontraksi/pengecilan diameter tulangan, hal ini mengakibatkan tidak berfungsinya lekatan terhadap beton yang mengelilinginya, sehingga akan menurunkan atau

bahkan hilangnya daya lekatan antara baja tulangan dan beton.

5. Putusnya tulangan apabila penanamannya terlalu panjang keruntuhan lekatan (*bond failure*) dengan tulangan berprofil dalam beton normal hampir selalu merupakan keruntuhan slip akibat terlepasnya tulangan dari beton akibat kegagalan interlocking. Pola keruntuhan pembelahan beton terbelah menjadi dua atau tiga bagian karena aksi *interlocking* baja (*wedging*) dari gerigi terhadap beton serta gaya-gaya interaksi antara tulangan berprofil dan beton sekeliling.

Menurut Nawy (1998), secara umum mengatakan tegangan lekat antara beton dan tulangan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu:

1. Adhesi Adhesi merupakan ikatan kimiawi yang terbentuk pada seluruh bidang kontak antara beton dan tulangan akibat adanya proses reaksi pengerasan semen.
2. Friksi Friksi merupakan tahanan geser terhadap gelinciran dan saling mengunci pada saat elemen penguat atau tulangan mengalami tegangan tarik. Mekanisme ini terbentuk karena adanya permukaan yang tidak beraturan pada bidang kontak antara beton dan tulangan.
3. *Interlocking Mekanisme* ini terbentuk karena adanya interaksi antara ulir atau tonjolan tulangan (*rib*) dengan matriks beton yang ada di sekitarnya, mekanisme ini sangat bergantung pada kekuatan, dan kepadatan material beton, geometri dan diameter tulangan.
4. *Gripping* Efek memegang (*gripping*), akibat susut/ pengeringan beton di sekeliling.
5. Efek kualitas beton Kualitas beton meliputi kuat tarik dan kuat tekan. Akibat desakan

oleh tegangan radial, beton mengalami tegangan tarik keliling, jika tegangan tarik ijin beton terlampaui maka akan mengakibatkan retak belah.

6. Efek mekanisme penjangkaran ujung tulangan Efek penjangkaran dapat berupa panjang lewatan/tanam, bengkokan tulangan dan persilangan tulangan.
7. Diameter, bentuk dan jarak tulangan Diameter, bentuk dan jarak tulangan (kesemuanya) mempunyai pengaruh terhadap pertumbuhan retak radial, Diameter tulangan terlalu kecil akan mengakibatkan keruntuhan putus pada tulangan karena kuat lekatnya jauh lebih tinggi dari pada kuat putus baja atau tulangannya, sedangkan diameter terlalu besar akan mengakibatkan keruntuhan slip, karena kuat tarik baja atau tulangan jauh lebih besar dari pada kuat lekatnya sehingga akan terjadi slip yang didahului oleh retak belah yang sangat cepat. Bentuk tulangan polos keruntuhan akan berupa slip karena kuat lekat beton sangat kecil, sedangkan bentuk tulangan ulir akan mengalami keruntuhan belah. Jika jarak tulangan terlalu dekat bila dibandingkan dengan selimut beton, maka akan terjadi keruntuhan belah.
8. Selimut beton Selimut beton yang tidak mencukupi untuk mengakomodasi tegangan tarik keliling akan mengakibatkan retak belah yang selanjutnya mengakibatkan kehancuran belah.
9. Korosi Karatan atau korosi pada tulangan akan mengakibatkan menurunnya adhesi, *gripping* dan friksi antara beton dan tulangan sehingga mengurangi kuat lekat.

2.7 Angkur (*Anchor*)

Angkur merupakan suatu alat yang digunakan untuk menjangkarkan tendon kepada komponen struktur beton dalam sistem pasca tarik atau suatu alat yang digunakan untuk menjangkarkan tendon selama proses pengerasan beton dalam sistem pratarik (asat.staff.umy.ac.id). Angkur adalah jenis material yang kinerjanya mencakup gabungan dari dua jenis material yang berbeda, baja yang daktail serta beton yang bersifat getas.

Menurut Appendix D (ACI 2011) dikenal dua jenis angkur berdasarkan cara pemasangannya yaitu cor ditempat (*cast-in place*) dan pasca pasang (*post installed*). Kuat jebol (*Breakout*) beton terhadap gaya geser dipengaruhi oleh jarak dari pusat baut ke tepi beton dan juga panjang penanaman baut kedalam beton (*hef*). Jebol beton terjadi karena kapasitas beton menahan beban geser terlampaui,

Angkur merupakan elemen baja baik ditanam dalam beton pada saat sebelum dicor (*cast in place*) atau dipasang setelahnya (*post-installed*) ke dalam beton yang mengeras dan digunakan untuk menyalurkan beban (tarik dan geser) yang bekerja ke beton.

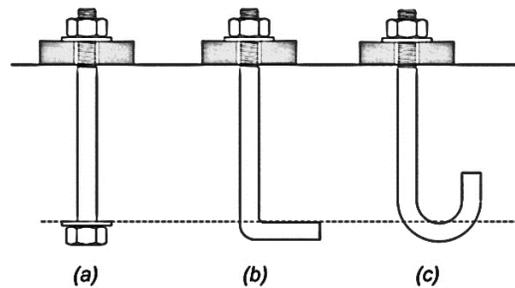
Spasi dan jarak tepi minimum untuk angkur dan tebal minimum komponen struktur harus memenuhi spasi minimum pusat ke pusat angkur harus sebesar $4d_a$ untuk angkur yang dicor di tempat yang tidak akan terpuntir, dan $6d_a$ untuk angkur yang dicor di tempat dengan torsi dan angkur tanam pascacor kecuali apabila tulangan tambahan disediakan untuk mengontrol pembelahan beton. Nilai yang lebih rendah dari uji spesifik produk yang diadakan. Untuk stud berkepala, baut berkepala, atau baut berkait

yang dicor di tempat yang secara menerus dilas ke perangkat penyambung baja yang mempunyai tebal minimum sama dengan yang terbesar dari 10 mm dan setengah diameter angkur, kekuatan jebol beton dasar dalam kondisi geser dari angkur tunggal pada beton retak. (SNI 2847:2019).

Untuk kasus baut berkepala dicor di tempat yang secara menerus dilas ke perangkat penyambung, data uji (Shaikh and Yi 1985) menunjukkan bahwa terlihat kekuatan geser yang lebih tinggi, mungkin karena sambungan las kaku yang menjepit angkur lebih efektif daripada perangkat penyambung dengan anchor gap. Karenanya, nilai geser dasar untuk angkur tersebut meningkat tetapi dikenakan batas atas karena pengujian pada angkur berdiameter besar yang dilas ke perangkat penyambung baja tidak tersedia untuk membuktikan nilai yang lebih tinggi.

Metode *cast in place* merupakan metode pemasangan angkur dimana angkur dipasang dan diposisikan sebelum dilakukan pengecoran beton. Metode *cast in place* memberikan keunggulan berupa mekanisme ikatan maksimum antara beton dengan angkur, namun memiliki kelemahan utama yaitu tidak dapat dipindahkan setelah setelah beton mengeras serta adanya potensi penempatan yang salah. (Dewobroto,2015).

Baut angkur cor di tempat (*cast in place*) memiliki beberapa variasi diantaranya adalah [a] *hex head bolt* [b] *L-bolt*; [c] *J-bolt* dipasang sebelum pengecoran beton.



Gambar 2.2 Variasi angkur metode *cast in place*

(a) *hex head*; (b) *L-bolt*; (c) *J-bolt*

Sumber : www.pinhome.id, Jenis-jenis angkur, 2015

Adapun beberapa pengaplikasian angkur pada konstruksi antara lain sebagai berikut :

1. Angkur sebagai penghubung balok baja kepelat beton pada bangunan gedung.
2. Angkur sebagai penghubung kolom baja kepelat beton pada bangunan gedung.
3. Angkur sebagai penghubung profil kanopi kebeton pada bangunan gedung.
4. Angkur sebagai penghubung tumpuan *braket facade precast*.
5. Angkur sebagai tumpuan *braket facade curtainwall*.
6. Angkur sebagai penghubung tumpuan dudukan AC pada bangunan gedung.
7. Angkur sebagai penghubung gantungan pipa, *cable-tray*, *ducting* dll pada bangunan gedung .
8. Angkur sebagai penghubung tumpuan antara profil baja dan beton pada pinggir jembatan atau *basement*.
9. Angkur sebagai penghubung *bracket elevator/lift* ke separator *beam* atau pada bangunan gedung *shearwall*.

(Rini, wulan Dary, 2014).